



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

TOKURA, Toshiyuki
09/04/03
BSKB
703/205-8090
2611-0196D
1 of 1

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年12月 6日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-355341

[ST.10/C]:

[JP2002-355341]

出 願 人

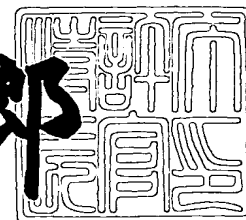
Applicant(s):

三菱電機株式会社

2003年 5月 6日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3033048

【書類名】 特許願

【整理番号】 543367JP01

【提出日】 平成14年12月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/30
H04J 14/02

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 十倉 俊之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 小暮 太一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 加治屋 哲

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社
社内

【氏名】 水落 隆司

【特許出願人】

【識別番号】 000006013

【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100089118

【弁理士】

【氏名又は名称】 酒井 宏明

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 036711

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9803092

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ラマン増幅器および光中継伝送システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の波長の信号光とラマン増幅を受けない参照光とが多重された信号光を伝送するとともに、該信号光をラマン増幅する光ファイバと、
前記信号光をラマン増幅するための励起光を出力する励起光源と、
前記光ファイバを伝搬する前記信号光の一部から信号光と参照光とを分波する分波手段と、
前記分波された信号光のレベルを検出する信号光レベル検出手段と、
前記分波された参照光のレベルを検出する参照光レベル検出手段と、
前記検出された参照光のレベルに基づいて、ラマン利得を所定の値に保つための信号光レベル制御目標値を算出し、算出した前記信号光レベル制御目標値に前記検出された信号光のレベルが一致するように前記励起光源から出射される励起光の出力を制御する目標信号レベル設定手段と、
を備えることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 2】 前記目標信号レベル設定手段は、ラマン増幅されていない信号光の信号レベルを Ps_off 、前記参照光のレベルを $Pref_init$ 、前記信号光がラマン増幅されている状態での前記参照光のレベルを $Pref$ 、およびラマン利得を G とした場合に、前記信号レベル制御目標値 Ps_on を、

$$Ps_on = Ps_off \times G \times (Pref / Pref_init)$$

となるように、前記励起光源から出射される励起光の出力を制御することを特徴とする請求項 1 に記載のラマン増幅器。

【請求項 3】 前記参照光は、光通信システムで使用される監視制御光であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のラマン増幅器。

【請求項 4】 ラマン増幅された前記信号光の利得の波長依存性を補償する利得等化器をさらに備えることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 つに記載のラマン増幅器。

【請求項 5】 前記ラマン増幅器の出力信号光を所定の利得で増幅する希土類添加光ファイバ増幅器と、

前記希土類添加光ファイバ増幅器によって増幅された信号光レベルを所定値に調整する可変減衰器と、

をさらに備えることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 つに記載のラマン増幅器。

【請求項 6】 前記参照光のレベルが所定値より低くなった場合に、前記目標信号レベル設定手段による前記励起光源の制御に優先して、前記励起光源から出射される励起光の出力を強制的に所定値以下に下げる受信光断検出手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 つに記載のラマン増幅器。

【請求項 7】 波長の異なる信号光を出力し、これらの信号光を波長多重して送信する信号光送信手段と、

前記信号光の波長帯と重ならない波長の参照光を出力する参照光出力手段と、

前記参照光出力手段から出力された参照光に基づいて、前記信号光送信手段から出力された信号光をラマン増幅する請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 つに記載のラマン増幅器と、

ラマン増幅された信号光を受信する信号受信手段と、

を備えることを特徴とする光中継伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

この発明は、光ファイバを伝搬する信号光をラマン増幅効果によって増幅するラマン増幅器およびそのラマン増幅器を用いた光中継伝送システムに関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

波長多重された信号光を光増幅中継するためには、光増幅器の持つ利得の波長特性が問題となる。具体的には、伝送路上を伝送する信号光の良好な伝送特性を得るには、伝送路の非線形効果や自然放出光による S/N 比低下などの信号光への影響を抑えるために、波長の異なる各信号光のレベルを所望の範囲内に収める必要がある。そのため、各波長の信号光におけるレベルのばらつきを抑えるよう

に、光増幅器のもつ利得の波長特性を適切に設計する必要がある。このような利得波長特性の改善は、伝送距離を拡大するための有効な手段であるラマン増幅器についても検討されてきている。その結果、たとえば、石英ファイバを用いた波長 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯の伝送システムを対象として、波長の異なる励起光を多重することにより、 $80\ \text{nm}$ を超える広帯域なラマン増幅特性を実現することができるようになっている。

【 0 0 0 3 】

また、特許文献 1 には、波長多重した励起光の適切なパワー配分によって、信号波長帯である程度の平坦な利得特性を保持したまま平均利得を可変することができるラマン増幅による光伝送パワーの波長特性制御方法が開示されている。このような方法を用いることで、入力信号光のトータルパワーのレベルにかかわらず、各信号光の出力レベルを一定に保つことができるラマン増幅器が実現可能である。

【 0 0 0 4 】

しかしながら、ラマン増幅器の特徴として、ラマン増幅時の平均利得を変化させると、利得の波長特性も変化してしまうという問題点がある。図 5 は、光ファイバとしてシングルモードファイバ (SMF) を使い、 $1470\ \text{nm}$ と $1500\ \text{nm}$ の後方励起光によって、 $1570\sim 1608\ \text{nm}$ の信号波長帯を有する信号光にラマン増幅を行った場合のラマン利得の波長特性の一例を示す図である。この図において、横軸は信号光の波長 (nm) を示しており、縦軸はラマン利得 (dB) を示している。ここで、ラマン利得とは、後方励起光を入力する場合と入力しない場合の信号出力レベルの比であり、別名オン・オフ利得ともいわれるものである。この図 5 には、2 つの異なる平均利得を有する利得の波長特性が示されている。破線の曲線は平均利得が $7.8\ \text{dB}$ の場合のラマン利得の波長特性を示しており、その値は左側の縦軸によって示されている。また、実線の曲線は平均利得が $3.9\ \text{dB}$ の場合のラマン利得の波長特性を示しており、その値は右側の縦軸によって示されている。

【 0 0 0 5 】

この図 5 に示されるように、ラマン利得を励起光のパワーで変化させた場合に

は、平均利得が大きいほど波長依存性も大きくなる。このことから、複数の励起光源を有するラマン増幅器において、複数波長の励起光のパワー配分を最適調整しても、利得の波長特性に現れる凸凹の大きさを変えずに平均利得だけを変化させることは出来ない。これは、ラマン増幅が持つ本質的な特徴であり、実用上問題となる課題である。したがって、上記の特許文献1では、励起光のパワーを変化させて平均利得を変化させることによって、ラマン増幅によって得られる出力信号光レベルを常に一定に保つようにしているが、実際には平均利得の変化によって利得の波長依存性が変化してしまい、出力信号光を構成する各波長の信号光レベルの平坦性が微妙に失われてしまっているという問題点があった。

【0006】

この利得の波長依存性を抑えるための手段として、利得等化器の使用が挙げられる。たとえば、実用的な設計としてより少ない波長数の励起光（すなわち、より少ない励起光源）でラマン増幅器を構成する場合には、多くの励起波長数を用いる場合と比較して、ラマン増幅で得られる利得の波長依存性の凹凸が大きくなってしまうので、これを利得等化器で補償することが行われている。ところが、この利得等化器を用いる場合でも、平均利得が変化すると、ラマン利得の波長特性が利得等化器の特性と一致しなくなるため、補償誤差が発生してしまうという問題点があった。また、積極的に平均利得を可変としない場合でも、ラマン増幅を行う光ファイバの利得効率や、光ファイバへの接続経路の損失などの条件の違いによって、同じ励起パワーでも得られる平均利得が異なり、それに伴って波長特性が変化してしまう。そして、この波長特性の変化が、利得等化器の特性と一致しなくなるために、利得等化器の補償誤差の原因となる。

【0007】

そこで、ラマン利得を一定に制御するために、特許文献2では、増幅器の入力・出力の両方で信号光レベルを測定することによって所望利得への制御を実現していた。

【0008】

【特許文献1】

特開2001-7768号公報（第8～9頁、第21～23図）

【特許文献 2】

特開 2 0 0 1 - 1 0 9 0 2 5 号公報 (第 5 ～ 6 頁)

【0 0 0 9】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、信号光を伝送する光ファイバを増幅媒体とするラマン増幅器に上記した特許文献 2 の方法を適用する場合には、増幅器の入力と出力の両方で信号レベルを測定することから、距離が離れた 2 地点での信号レベルの測定が必要となるため、遠隔地へ制御信号を伝達する手段を備えた複雑な装置構成となってしまうという問題点があった。

【0 0 1 0】

この発明は、上記に鑑みてなされたもので、光ファイバや信号光のレベルにかかわらず、一定の平均利得と波長特性を実現することができ、複雑な装置構成を必要としないラマン増幅器およびそのラマン増幅器を用いた光中継伝送システムを得ることを目的とする。

【0 0 1 1】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、この発明にかかるラマン増幅器は、複数の波長の信号光とラマン増幅を受けない参照光とが多重された信号光を伝送するとともに、該信号光をラマン増幅する光ファイバと、前記信号光をラマン増幅するための励起光を出力する励起光源と、前記光ファイバを伝搬する前記信号光の一部から信号光と参照光とを分波する分波手段と、前記分波された信号光のレベルを検出する信号光レベル検出手段と、前記分波された参照光のレベルを検出する参照光レベル検出手段と、前記検出された参照光のレベルに基づいて、ラマン利得を所定の値に保つための信号光レベル制御目標値を算出し、算出した前記信号光レベル制御目標値に前記検出された信号光のレベルが一致するように前記励起光源から出射される励起光の出力を制御する目標信号レベル設定手段と、を備えることを特徴とする。

【0 0 1 2】

【発明の実施の形態】

以下に添付図面を参照して、この発明にかかるラマン増幅器および光中継伝送システムの好適な実施の形態を詳細に説明する。

【 0 0 1 3 】

実施の形態 1.

図 1 は、この発明にかかるラマン増幅器の実施の形態 1 の概略構成を示すブロック図である。ラマン増幅器 2 は、波長 1 5 8 0 n m 帯の信号光と波長 1 5 1 0 n m の参照光とが多重された信号光が伝搬する伝送路であるとともに、励起光を入力することでラマン増幅効果を得る伝送路光ファイバ 1 が入力側に接続され、ラマン増幅された信号光を出力する光ファイバ 1 3 が出力側に接続されている。

【 0 0 1 4 】

ラマン増幅器 2 は、伝送路光ファイバ 1 を伝搬してきた波長 1 5 8 0 n m 帯の信号光をラマン増幅するための波長の励起光を発振する励起光源 8 と、励起光源 8 からの複数の励起光を合波する合波器 9 とを備えている。励起光源 8 は、波長 1 4 5 0 n m 帯に発振波長を有する半導体レーザなどのレーザ発振器から構成される。ラマン増幅を行う場合には、波長多重される信号光の波長範囲と重ならない波長の 1 つまたは異なる複数の励起光を用いる。複数の励起光を用いる場合には、このラマン増幅器 2 を用いる光中継伝送システムで求められる状況に応じて、励起光の数が選択される。そのため、励起光源 8 には、1 つの励起光源、または、複数の同一または異なる波長の励起光を発振するための励起光源が格納されている。

【 0 0 1 5 】

また、ラマン増幅器 2 は、伝送路光ファイバ 1 からの信号光の一部を分波する第 1 の分波器 3、第 1 の分波器 3 によって分波された信号光から励起光を除去する励起光除去フィルタ 4、分波された信号光から波長の異なる参照光をさらに分波する第 2 の分波器 5、第 2 の分波器 5 によって分波された信号光のレベルを検出してレベル測定を行う信号光レベル検出器 6 a、第 2 の分波器 5 によって分波された参照光のレベルを検出してレベル測定を行う参照光レベル検出器 6 b、信号光レベルの検出結果から目標とする信号レベルを設定し、その設定に基づいて励起光源 8 を制御する目標信号レベル設定部 7 a、参照光レベルの状態が所

定値以下の場合に励起光源の出力を低下させる受信光断検出部 7 b をさらに有している。

【 0 0 1 6 】

励起光除去フィルタ 4 は、伝送路光ファイバ 1 など反射されて信号光と同一方向に伝搬してくる励起光の一部が信号光レベル検出器 6 a に入力することによって生じる測定誤差を低減するために配置されるものであり、この測定誤差が問題とならない場合には、省略することもできる。

【 0 0 1 7 】

目標信号レベル設定部 7 a は、信号光レベルの条件を変化させても、ラマン利得を一定に保つように、すなわち各波長帯の信号光レベルのばらつきを抑えてラマン増幅するように、励起光源 8 の出力を調整する。ここで、目標信号レベル設定部 7 a における励起光源 8 の制御方法について説明する。まず、目標信号レベル設定部 7 a は、励起光源 8 から発振される励起光を実質的に停止して、伝送路光ファイバ 1 に励起光が入力しない状態において、信号光レベル検出器 6 a によって測定された伝送路光ファイバ 1 からの出力信号光レベル Ps_{off} と、参照光レベル検出器 6 b によって測定された参照光の初期レベル $Pref_{init}$ とを測定する。つぎに、あらかじめ設定された所望のラマン増幅利得 G に対して、出力信号光レベルの制御目標値 Ps_{on} を以下の式 (1) となるように設定する。

【 0 0 1 8 】

$$Ps_{on} = Ps_{off} \times G \times (Pref / Pref_{init}) \quad (1)$$

【 0 0 1 9 】

ただし、 $Pref$ は参照光レベル検出器 6 b によって逐次測定される値である。また、この式 (1) で、信号光レベル Ps_{on} 、 Ps_{off} および Ps の単位には、mW または W という線形単位を使用して、利得 G は線形の倍数を想定しているものであり、dBm や dB の対数単位を使用するものではない。そして、目標信号レベル設定部 7 a は、参照光レベル検出器 6 b によって測定された出力参照光レベル $Pref$ を用いて上記 (1) 式にしたがって出力信号光レベルの制御目標値 Ps_{on} を算出し、算出した出力信号光レベルの制御目標値 Ps_{on} と、信号光レベル検出器 6 a によって測定された伝送路光ファイバ 1 の出力信号光レベル Ps が出力信号光レ

ベルの制御目標値 Ps_{on} と一致するように、励起光源 8 から出力する励起光のパワーを調整する。

【 0 0 2 0 】

上記（１）式を用いて励起光源 8 から出力する励起光のパワーの調整として、（Ａ）出力参照光レベル P_{ref} がほぼ一定の場合、（Ｂ）出力参照光レベル P_{ref} が変化する場合、の２つの場合を想定することができる。まず、（Ａ）の場合は、伝送路光ファイバ 1 の利得効率が異なったりしない場合や伝送路光ファイバ 1 に至る経路で励起光が受ける損失が異ならない場合などに該当し、参照光レベル検出器 6 b によって検出される出力参照光レベル P_{ref} は常に一定となる。そのため、上記（１）式においても出力信号光レベルの制御目標値 Ps_{on} も一定となる。したがって、目標信号レベル設定部 7 a は、信号光レベル検出器 6 a によって検出された出力信号光レベル Ps がその制御目標値 Ps_{on} と一致するように励起光源 8 の出力を制御する。

【 0 0 2 1 】

つぎに、（Ｂ）の場合は、伝送路光ファイバ 1 に至る経路で励起光が受ける損失が異なるような場合、または伝送路光ファイバ 1 が別の光ファイバへと交換された場合などに該当し、参照光レベル検出器 6 b によって検出される出力参照光レベル P_{ref} は変化する。そのため、上記（１）式においても出力信号光レベルの制御目標値 Ps_{on} も変化する。したがって、目標信号レベル設定部 7 a は、信号光レベル検出器 6 a によって検出された出力信号光レベル Ps がその制御目標値 Ps_{on} と一致するように励起光源 8 の出力を制御する。たとえば、出力参照光レベル P_{ref} が減少した場合には、それにつれて励起光源 8 の出力が低下するように制御されるが、ラマン増幅利得 G を一定に保つように励起光の出力を制御するので、各波長における信号光レベルを一定に保つことができる。

【 0 0 2 2 】

受信光断検出部 7 b は、参照光レベル検出器 6 b で測定される参照光レベルが所定値以下となった場合に、伝送路光ファイバ 1 が経路途中で外されたと判断し、励起光源 8 の出力を強制的に所定のレベルまで下げる機能を有する。この機能によって、たとえば、光ファイバ上の点 1 2 で光ファイバ接続点が外されたよう

な場合に、人体にとって危険性のある高レベルの励起光が光ファイバ外に漏出することを防ぐことができる。

【 0 0 2 3 】

さらに、ラマン増幅器 2 は、ラマン増幅の持つ利得の波長特性を所望の波長特性に補償する利得等化器 1 0 と、ラマン増幅によって増幅された信号光の平均レベルを調整することによって、利得の波長特性を保持しつつ、波長多重されたすべての信号光を所望のレベル範囲内に制御する可変減衰器 1 4 とを設けることができる。ラマン利得を変化させないように信号光の出力を制御しているので、信号光の各波長のレベルのばらつきはラマン増幅の前後で抑えられたものとなっている。そのため、ラマン増幅後の信号光の利得特性は常に一定であり、予め設定された利得等化器 1 0 の特性に一致し、利得等化器 1 0 による補償誤差を抑えることができる。また、このように各波長のレベルのばらつきが抑えられた信号光を可変減衰器 1 4 によって減衰させても、各波長の信号光のレベルのばらつきが変化することがない。なお、これらの利得等化器 1 0 と可変減衰器 1 4 とは、必要に応じて使用することができる。

【 0 0 2 4 】

なお、上述した説明において参照光として、ラマン増幅帯域外の、すなわち励起光からのラマン増幅を受けない波長を有する光が使用される。このため、伝送路光ファイバ 1 の利得効率が異なったりしない場合や、伝送路光ファイバ 1 に至る経路で励起光が受ける損失が異ならない場合には、参照光は、ラマン増幅を受ける前後で、励起光のパワーにかかわらず一定のレベルを有している。また、参照光として使用される光は、上述した波長帯の光に限られるものではない。たとえば、光通信システムの監視制御に使用される監視制御光を使用することができる。この監視制御光は、システムを監視または制御するための情報を伝送するために信号光とは別帯域に多重されている光であり、たとえば、ITU-T 勧告の G. 6 9 2 で規定されている 1 5 1 0 n m（または、1 3 1 0 n m, 1 4 8 0 n m）の O S C（Optical Supervisory Channel）光がこれに該当する。

【 0 0 2 5 】

図 2 は、上述したラマン増幅器を用いた光中継伝送システムの構成の一例を示

すブロック図である。光中継伝送システムは、複数の波長の信号光を出力するための光源や複数の波長の信号光を多重するための合波器などを備える信号光送信部 3 1 と、信号光と同時に送信され、増幅を受けない波長帯の参照光を出力するための参照光光源 3 2 と、信号光と参照光とを合波するための合波器 3 3 と、合波された信号光を伝送する伝送路光ファイバ 1 と、伝送路光ファイバ 1 を伝搬してきた信号光を増幅するラマン増幅器 2 と、信号光を受信し、各波長の光を分波するための分波器などを備える信号光受信部 4 1 と、を備える構成となっている。

【 0 0 2 6 】

つぎに、この実施の形態 1 のラマン増幅器 2 および光中継伝送システムの動作について説明する。ここでは最初に励起光源 8 から出力される励起光の伝送について説明し、つぎに信号光の伝送について説明する。

【 0 0 2 7 】

まず、励起光の伝送について説明する。ラマン増幅を行う前に、ラマン増幅器 2 は、最初に励起光源 8 を出力しない状態でラマン増幅器 2 に入力される信号光の一部を第 1 の分波器 3 によって分波し、さらに第 2 の分波器 5 で信号光と参照光を分波する。第 2 の分波器 5 で分波された信号光は信号光レベル検出器 6 a でその信号光レベルが検出され、その検出値がラマン増幅されていない出力信号光レベル P_{s_off} として目標信号レベル設定部 7 a に格納される。また、第 2 の分波器 5 で分波された参照光は参照光レベル検出器 6 b でその参照光レベルが検出され、その検出値が参照光の初期レベル P_{ref_init} として目標信号レベル設定部 7 a に格納される。

【 0 0 2 8 】

ラマン増幅されていない状態での出力信号光レベル P_{s_off} と参照光の初期レベル P_{ref_init} を得た後に、光中継伝送システムによる信号光のラマン増幅が行われる。励起光源 8 から発振された複数の波長の励起光は、合波器 9 において合波され、信号光の伝搬方向とは逆の方向に出射され、伝送路光ファイバ 1 で信号光をラマン増幅する。

【 0 0 2 9 】

一方、伝送路光ファイバ1で励起光によってラマン増幅された信号光は、伝送路光ファイバ1を通してラマン増幅器2に入力すると、第1の分波器3によって信号光の一部が分波される。その後、分波された信号光の一部は、励起光除去フィルタ4によって、分波された信号光中に含まれる励起光源8から出射された励起光の波長成分が除去される。この励起光の波長成分が除去された信号光は、第2の分波器5に入射し、ここで1580nm帯の信号光と1510nm帯の参照光とに分波される。分波された1580nm帯の信号光は信号光レベル検出器6aで伝送路光ファイバ1からの出力点のみの信号光レベルが検出され、その検出値が出力信号光レベル P_s として目標信号レベル設定部7aに入力される。一方、分波された参照光は参照光レベル検出器6bで伝送路光ファイバ1からの出力点のみでの参照光レベルが検出され、その検出値が参照光レベル P_{ref} として目標信号レベル設定部7aと受信光断検出部7bに入力される。

【0030】

目標信号レベル設定部7aでは、取得した参照光の初期レベル P_{ref_init} 、ラマン増幅されていない出力信号光レベル P_{s_off} 、および参照光レベル P_{ref} を用いて、上述した(1)式にしたがって出力信号光レベルの制御目標値 P_{s_on} を算出し、取得した出力信号光レベル P_s と比較する。その後、たとえば出力信号光レベルの制御目標値 P_{s_on} が取得した出力信号光レベル P_s よりも大きい場合には、励起光源8のパワーを落として両者の差を無くすように励起光源8を制御し、逆に出力信号レベルの制御目標値 P_{s_on} が出力信号光レベル P_s よりも小さい場合には、励起光源8の出力を上げて両者の差を無くすように励起光源8を制御する。そして、目標信号レベル設定部7aによって制御された出力で励起光源8から励起光が出射され、上述したように信号光をラマン増幅する処理が繰り返し実行される。

【0031】

また、受信光断検出部7bでは、取得した参照光レベル P_{ref} が所定値以下、たとえば-40dBm以下、となっているか否かを判断し、所定値以下となっている場合にのみ、上述の目標信号レベル設定部7aでの制御にかかわらず、強制的に励起光源8の出力を所定のレベルまで下げる。そして、受信光断検出部7bに

よって制御された出力で励起光源 8 から励起光が出射される。一方、取得した参照光レベルPrefが所定値より大きい場合には、受信光断検出部 7 b は励起光源 8 に対する制御は何も行わない。

【 0 0 3 2 】

つぎに信号光の伝送について説明する。信号光送信部 3 1 に格納された複数の同一または異なる波長を出力する信号光光源によって出力された各信号光が合波器によって多重され 1 つの信号光として送信される。また、同時に参照光も参照光光源 3 2 から出力され送信される。この信号光と参照光が合波器 3 3 によってさらに 1 つの信号光に合波され、伝送路光ファイバ 1 を介してラマン増幅器 2 に送信される。

【 0 0 3 3 】

送信された信号光は、伝送路光ファイバ 1 を通過する際に、上述した方法によって、信号光と参照光の出力レベルに応じて制御されたラマン増幅器 2 の励起光源 8 から出力される励起光によってラマン増幅される。増幅された信号光はラマン増幅器 2 へと入力し、その一部が上述した励起光源 8 の制御を行うための信号用として第 1 の分波器 3 によって分波されるが、残りの信号光はそのまま光ファイバ上を伝搬し、利得等化器 1 0 で所望の波長特性に補償される。さらに、信号光は、可変減衰器 1 4 で各信号光の平均レベルが調整される。そして、利得の波長特性を保持しつつ、波長多重されたすべての信号光を所望のレベル範囲内に制御した信号光が光ファイバ 1 3 を介して出力される。

【 0 0 3 4 】

このラマン増幅器 2 の次段にもラマン増幅器 2 がある場合には、同様の処理が繰り返し行われる。そして、最終段のラマン増幅器 2 から出力された信号光は、信号光受信部 4 1 に入力される。信号光受信部 4 1 では、分波器によって多重された信号光が波長ごとに分波され、それぞれの信号光はたとえば電気信号に変換されて所定の機器に対して出力される。

【 0 0 3 5 】

この実施の形態 1 によれば、各波長の信号光と参照光が波長多重された信号光を分波して検出した信号光レベルと参照光レベルから、ラマン増幅利得が所定値

となるように出力信号光レベルの制御目標値を算出し、この制御目標値に基づいて励起光源の出力を制御するように構成したので、伝送路光ファイバ 1 の利得効率が異なったり、伝送路光ファイバ 1 に至る経路で励起光が受ける損失が異なったりするような場合でも、励起光源 8 の出力パワーを適切に調整して、所望のラマン増幅利得を得ることができるという効果を有する。これによって、従来の技術で述べた図 5 に示すような利得の波長特性の変化が発生することがなく、常に所定の波長特性を有する信号光の出力が得られる。したがって、利得等化器 1 0 を使用する場合でも、各波長の信号光レベルが変化しないので、所望の波長特性に補償することができる。

【 0 0 3 6 】

また、信号光の経路上で経時的に損失が変動するような場合でも、それらの変動を参照光レベル検出器 6 b で参照光レベル P_{ref} として検出し、出力信号光レベルの制御目標値 P_{s_on} に反映させるように構成したので、所望のラマン利得を保持することもできるという効果を有する。たとえば、伝送路光ファイバ 1 として接続する光ファイバが SMF から分散シフトファイバ (DSF) に変わる場合、ファイバの利得効率が大きく変わるために励起光の所要パワーも異なるが、この方法で制御することによって、SMF の場合と等しい所望のラマン利得を得ることができる。

【 0 0 3 7 】

実施の形態 2.

図 3 は、この発明にかかるラマン増幅器の実施の形態 2 の概略構成を示す図である。この実施の形態 2 のラマン増幅器は、実施の形態 1 の図 1 において、利得等化器 1 0 と可変減衰器 1 4 との間に第 1 の利得一定エルビウム添加光ファイバ増幅器 (以下、第 1 の利得一定 EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier) という) 1 5 a を配置し、さらに可変減衰器 1 4 の後段に第 2 の利得一定 EDFA 1 5 b を配置したことを特徴とする。以下では、実施の形態 1 の図 1 と同一の構成要素には同一の符号を付して、その説明を省略している。

【 0 0 3 8 】

図 4 は、利得一定 EDFA の概略構成の一例を示す図であり、補償光制御方式

の利得一定EDFAを示している。この利得一定EDFA15は、主信号光を入力する信号光入力端子101と、増幅後の主信号光を出力する信号光出力端子102と、増幅媒体であるエルビウム添加光ファイバ103と、エルビウム添加光ファイバ103を励起するための励起光源104と、励起光源104からの励起光と信号光とを合波または分波するための励起光合分波器105とを備える。また、利得一定EDFA15は、信号光入力端子101から入力した信号光波長帯の信号光を分岐または結合する光分岐結合器108aと、分波された信号光のうち必要な波長帯の光のみを透過する光フィルタ117と、信号光波長帯における感度を有する光検出器116と、光検出器116によって検出されたASE (Amplified Spontaneous Emission) 光のパワーに応じて利得を制御する利得制御回路109と、信号光波長帯域にあり、信号光波長とは異なった補償用光源114と、補償用光およびプローブ光をエルビウム添加光ファイバ103に結合するための光カプラ115と、をさらに備えている。

【0039】

このような利得一定EDFA15の利得安定化方式の動作について説明する。励起光源104から出力された励起光は、励起光合分波器105を介してエルビウム添加光ファイバ103に入力する。また、信号光入力端子101から入力した信号光は光分岐結合器108を介してエルビウム添加光ファイバ103に入力し、励起光合分波器105および光カプラ115を介して信号光出力端子102から増幅した信号光として取り出される。エルビウム添加光ファイバ103での利得の変動はエルビウム添加光ファイバ103で発生するASE光の変動として検出することができるため、光フィルタ117を介して取り出されたASE光パワーを光検出器116で検出し、その検出値が一定になるように、光カプラ115と励起光合分波器105とを介してエルビウム添加光ファイバ103に入力させる補償光パワーを制御することにより利得を安定にすることができる。

【0040】

このように利得が一定となるように利得一定EDFA15内で発振される励起光のパワーが制御された第1および第2の利得一定EDFA15a, 15bは、入力信号光のレベルにかかわらず利得の波長特性も一定に保持される。このため

、可変減衰器 1 4 で信号光レベルを調整することで、波長多重されたすべての信号光を所望のレベル範囲に収めることができる。

【 0 0 4 1 】

なお、図 3 では、第 1 の利得一定 E D F A 1 5 a を可変減衰器 1 4 の入力側に、第 2 の利得一定 E D F A 1 5 b を可変減衰器 1 4 の出力側の 2 箇所配置した構成としているが、どちらか一方のみとする構成も可能である。また、利得等化器 1 0 を第 1 または第 2 の利得一定 E D F A 1 5 a, 1 5 b に内蔵することも可能である。さらに、利得一定 E D F A 1 5 内部に利得等化器が設けられている場合には、利得一定 E D F A 1 5 内部の利得等化器と共通化することもできる。さらにまた、上述した説明ではエルビウム添加光ファイバを用いた利得一定 E D F A 1 5 の場合を説明したが、エルビウム以外の希土類添加光増幅器を使用してもよいし、第 1 および第 2 の利得一定 E D F A 1 5 a, 1 5 b として、光ファイバ増幅器でなく導波路型の光増幅器を使用してもよい。

【 0 0 4 2 】

また、この実施の形態 2 のラマン増幅器 2 を実施の形態 1 の図 2 に示した光伝送中継システムに用いることも可能である。

【 0 0 4 3 】

この実施の形態 2 によれば、光中継伝送システムとして従来使用されている利得一定 E D F A 1 5 での増幅に加え、ラマン増幅器をさらに備えるように構成したので、伝送路光ファイバ 1 の利得効率が異なったり、伝送路光ファイバ 1 に至る経路で励起光が受ける損失が異なったりするような場合でも、励起光源 8 の出力は適切に調整され、所望のラマン増幅利得を得ることができ、増幅された信号光の伝送距離を伸ばすことができるとともに、信号光をロスを抑えながら利得一定の状態ですらに増幅することができるという効果を有する。

【 0 0 4 4 】

なお、上述した実施の形態 1 と 2 において、励起光源 8 からの励起光は信号光と反対方向に伝搬させる例のみを挙げたが、励起光を信号光と同一方向に伝搬させる場合にも、伝送路光ファイバ 1 からの信号出力のみをモニタすることによって、ラマン利得が一定の制御を実現することができる。また、上述した説明では

ラマン増幅媒体となる光ファイバ 1 は信号光の伝送路を前提としたが、集中定数型の光増幅器と同様に装置内に収納した光ファイバを用いてラマン増幅器を有するものであってもよい。

【 0 0 4 5 】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、出力点のみで信号レベルを測定することによって利得一定のラマン増幅器を実現し、さらに、このラマン増幅器を光中継伝送システムに適用することで、光ファイバや信号光のレベルにかかわらず、一定の平均利得と波長特性を実現する光中継伝送システムを得ることができる。そして、一定の利得で増幅された信号光のレベルを、たとえば、可変減衰器などの手段を用いて所望のレベルに調整することで、波長多重されたすべての信号光を所望のレベル範囲内に収めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 この発明によるラマン増幅器の実施の形態 1 の概略構成を示すブロック図である。

【図 2】 この発明による光中継伝送システムの概略構成の一例を示すブロック図である。

【図 3】 この発明によるラマン増幅器の実施の形態 2 の概略構成を示すブロック図である。

【図 4】 E D F A の構成の一例を示すブロック図である。

【図 5】 平均利得の違いによるラマン利得の波長依存性を示す図である。

【符号の説明】

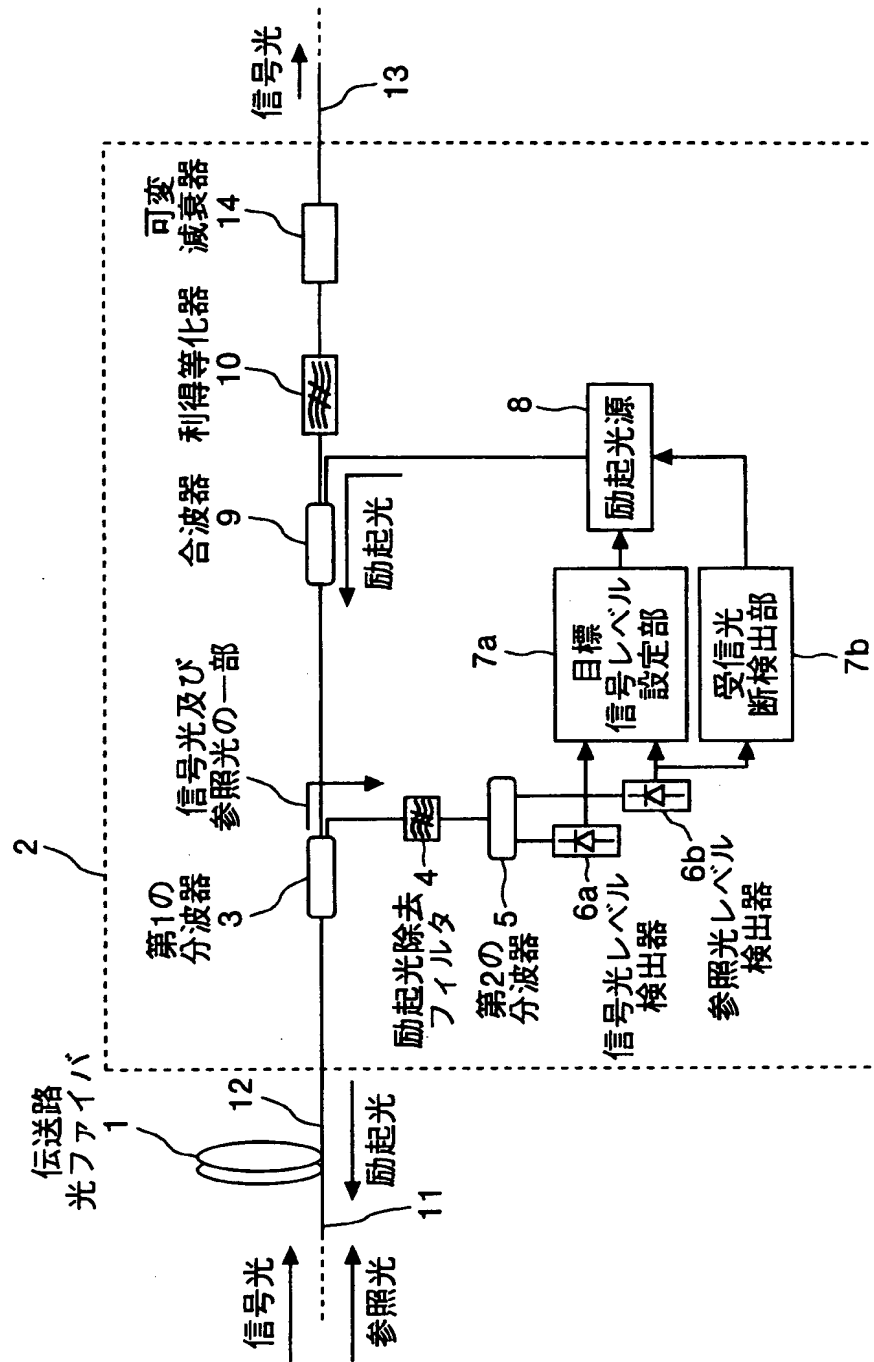
1 伝送路光ファイバ、2 ラマン増幅器、3 第 1 の分波器、4 励起光除去フィルタ、5 第 2 の分波器、6 a 信号光レベル検出器、6 b 参照光レベル検出器、7 a 目標信号レベル設定部、7 b 受信光断検出部、8 励起光源、9 合波器、10 利得等化器、11, 13 光ファイバ、14 可変減衰器、15, 15 a, 15 b 利得一定 E D F A、31 信号光送信部、32 参照光光源、33 合波器、41 信号光受信部、101 信号光入力端子、102 信号光出力端子、103 エルビウム添加光ファイバ、104 利得一定 E D

F A 内の励起光源、 1 0 5 励起光合分波器、 1 0 8 光分岐結合器、 1 0 9
利得制御回路、 1 1 4 補償用光源、 1 1 5 光カップラ、 1 1 6 光検出器、 1
1 7 光フィルタ。

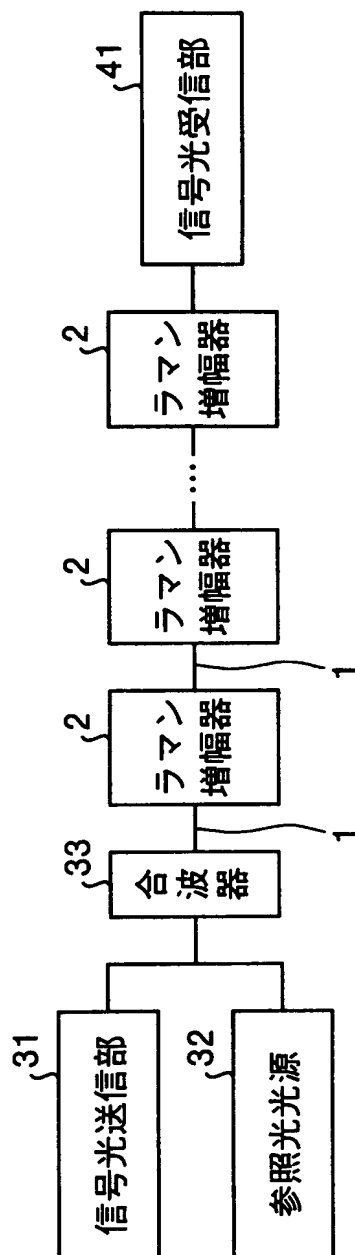
【書類名】

図面

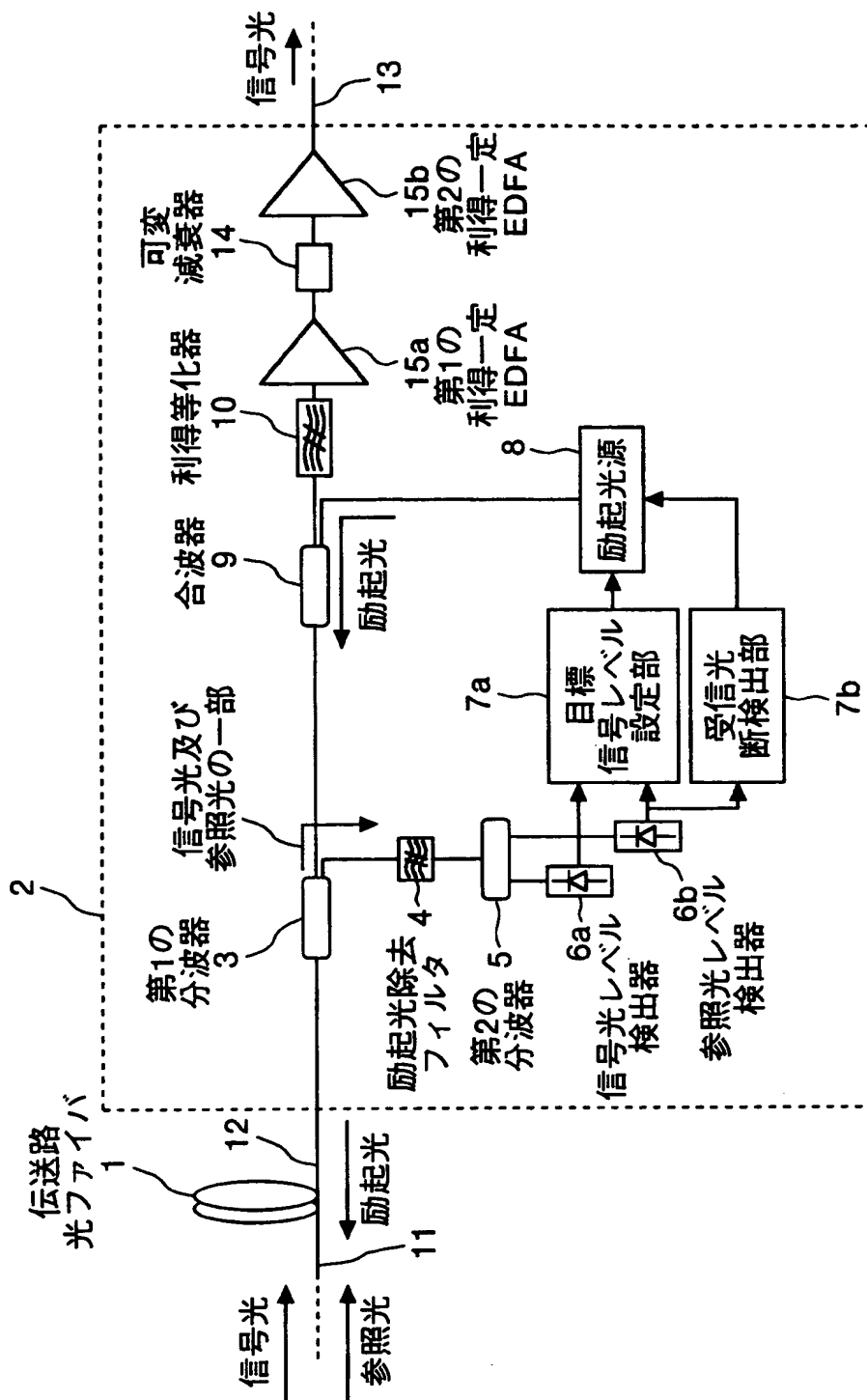
【図 1】



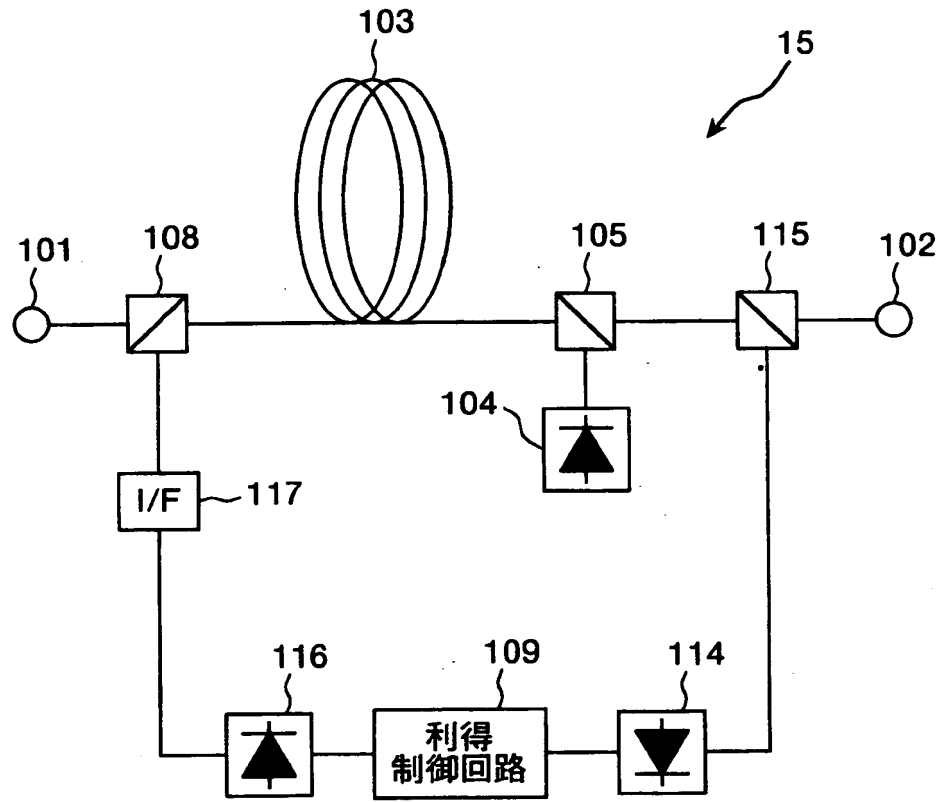
【図 2】



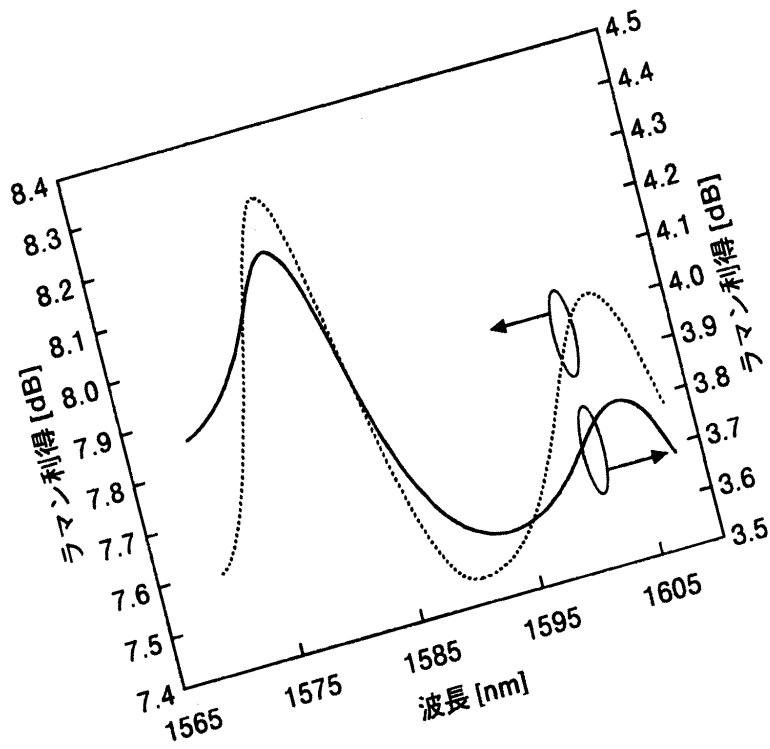
【図 3】



【図 4】



【図5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光ファイバや信号光のレベルにかかわらず一定の平均利得と波長特性を実現することができ、複雑な装置構成を必要としないラマン増幅器を得ること。

【解決手段】 複数の波長の信号光とラマン増幅を受けない参照光とが多重された信号光を伝送するとともに、該信号光をラマン増幅する光ファイバ 1 と、信号光をラマン増幅するための励起光を出力する励起光源 8 と、光ファイバ 1 を伝搬する信号光の一部から信号光と参照光とを分波する分波器 5 と、分波された信号光のレベルを検出する信号光レベル検出器 6 a と、分波された参照光のレベルを検出する参照光レベル検出器 6 b と、検出された参照光のレベルに基づいてラマン利得を所定の値に保つための信号光レベル制御目標値を算出し、算出した信号光レベル制御目標値に検出された信号光のレベルが一致するように励起光源 8 から出射される励起光の出力を制御する目標信号レベル設定部 7 a とを備える。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006013]

1. 変更年月日	1990年 8月24日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号
氏 名	三菱電機株式会社